

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

В. Н. Мищенко

***ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЯДНИКОВ И ДРУГИХ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ
НАПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ***

Лабораторный практикум по дисциплинам
«Направляющие системы телекоммуникаций»
и «Направляющие системы и пассивные компоненты»
для студентов специальностей

I-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,

I-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»,

I-45 01 03 «Сети и устройства телекоммуникаций»,

I-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях»

Минск 2007

УДК 621.395.126 (075.8)

ББК 32.889 я 7

М 71

Мищенко, В. Н.

М 71 Изучение разрядников и других способов защиты направляющих систем от опасных и мешающих электромагнитных влияний: лаб. практикум по дисц. «Направляющие системы телекоммуникаций» и «Направляющие системы и пассивные компоненты» для студ. спец. I-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций», I-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», I-45 01 03 «Сети и устройства телекоммуникаций», I-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях» / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2007. – 34 с. : ил.

ISBN 978-985-488-115-7

Практикум объединяет две лабораторные работы, связанные с изучением конструкции, принципов работы разрядников и методов измерения параметров передачи электрических кабелей.

Предназначен для студентов всех форм обучения.

УДК 621.395.126 (075.8)

ББК 32.889 я 7

ISBN 978-985-488-115-7

© Мищенко В. Н., 2007

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2007

ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЯДНИКОВ И ДРУГИХ СПОСОБОВ ЗАЩИТЫ НАПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ОТ ОПАСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ

Цель работы: изучить назначение, конструкции и области применения разрядников и схем защиты от опасных электромагнитных влияний, исследовать характеристики разрядников.

Задание к работе:

1. Изучить способы защиты воздушных и кабельных линий связей от опасных влияний.
2. Изучить лабораторный макет.
3. Снять основные характеристики разрядников.
4. Оценить полученные результаты и сделать выводы.

1.1. Краткие теоретические сведения

1.1.1. Виды влияний на кабельные и воздушные линии связи

Как известно, воздушные и кабельные линии связи подвержены взаимным и внешним электромагнитным влияниям.

Взаимные влияния обусловлены переходом электромагнитной энергии сигнала из одной цепи в другую вследствие несовершенства изоляции, воздействия электромагнитных полей взаимовлияющих цепей, асимметрии расположения жил в кабеле, неоднородности материала и толщины изоляции и случайных деформаций кабеля.

Чтобы снизить взаимные влияния, на воздушных линиях связи производят скрещивание проводов, а на кабельных – скрутку, симметрирование цепей, включение контуров противосвязи.

Источниками *внешних электромагнитных влияний* на цепи связи являются линии электропередачи, электрифицированные железные дороги, мощные радиостанции, атмосферное электричество, промышленные помехи, электрифицированный городской транспорт. Различают следующие виды внешних влияний:

- электрические, обусловленные действием электрического поля;
- магнитные, возникающие за счёт действия магнитного поля;
- гальванические, появляющиеся вследствие наличия в земле токов, блуждающих токов, которые создаются высоковольтными линиями, использующими землю в качестве обратного проводника.

Под действием внешних электромагнитных полей в сооружениях связи могут возникать токи и напряжения:

- опасные, угрожающие жизни обслуживающего персонала и абонентов или приводящие к повреждению аппаратуры и линейных сооружений;
- мешающие, при которых возникают помехи и искажения, приводящие к нарушению нормальной работы средств связи.

Внешние влияния подразделяются также на длительные и кратковременные, границей раздела между ними является время 1 с. Природа электромагнитных влияний на воздушные и кабельные линии связи различна. На воздушные линии действует одновременно как электрическое, так и магнитное поле. На кабельные линии оказывает влияние только магнитное поле. Силовые линии электрического поля замыкаются на металлическую оболочку кабеля и землю и не проходят в сердечник кабеля. Магнитное влияние на кабельные линии связи снижается за счёт экранирующего действия кабельной оболочки.

1.1.2. Меры защиты линий связи от внешних электромагнитных влияний

Меры защиты от влияний атмосферного электричества:

- прокладка линий связи в местах, наименее подверженных воздействию атмосферного электричества;
- применение каскадной защиты с помощью искровых разрядников;
- прокладка в земле параллельно кабелю медных, биметаллических и стальных оцинкованных проводов и тросов;
- применение кабелей с повышенной проводимостью оболочки (алюминиевой, стальной);
- включение в муфтах малогабаритных разрядников;
- использование воздушной линии связи, проходящей параллельно кабелю и оборудованной искровыми промежутками с выносным заземлением.

С целью защиты от влияния линий электропередачи (ЛЭП) применяют экранирующие оболочки, редуцирующие и отсасывающие трансформаторы, заземления и включение защитных контуров и фильтров и др.

Меры защиты от влияния электрифицированных железных дорог (ЭЖД) включают в себя использование экранирующих оболочек, защитных тросов, рельсовых путей электрифицированных железных дорог, редуцирующих и отсасывающих трансформаторов и контуров и другие мероприятия.

Контактные сети трамваев и троллейбусов также оказывают влияние на линии связи (ЛС), проложенные в черте города.

Для предохранения сооружений связи от внешних электромагнитных влияний проводится комплекс защитных мер как на влияющих линиях (ЛЭП, ЭЖД, радиостанции (РС)), так и на ЛС, подверженных влиянию. Перечень основных мероприятий приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Перечень основных мероприятий для защиты линий связи от опасных
и мешающих влияний

| Источник внешнего влияния | Характер влияния | Мероприятия, проводимые на линиях | |
|---------------------------|---|--|--|
| | | влияющих | связи |
| ЛЭП | Опасные и мешающие электрические и магнитные поля | <ol style="list-style-type: none"> 1. Автоматика 2. Сглаживающие фильтры 3. Экранирующие тросы | <ol style="list-style-type: none"> 1. Относ трассы 2. Каблирование 3. Скрещивание и симметрирование 4. Экранирование 5. Разрядники и предохранители 6. Заземление 7. Нейтрализующие и редуцирующие трансформаторы |
| ЭЖД | Опасное и мешающее магнитное поле | <ol style="list-style-type: none"> 1. Сглаживающие фильтры 2. Отсасывающие трансформаторы 3. Увеличение проводимости и изоляции рельсов | <ol style="list-style-type: none"> 1. Относ трассы 2. Каблирование 3. Скрещивание и симметрирование 4. Экранирование 5. Разрядники и предохранители 6. Заземление |
| Гроза | Опасное электрическое поле | — | <ol style="list-style-type: none"> 1. Каблирование 2. Молниеотводы на воздушных ЛС 3. Тросы на кабельных ЛС 4. Каскадная защита 5. Разрядники и предохранители 6. Заземление |
| РС | Мешающие магнитные и электрические поля | <ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор несущей частоты 2. Относ радиостанции | <ol style="list-style-type: none"> 1. Относ трассы 2. Каблирование 3. Скрещивание и симметрирование 4. Фильтры и запирающие катушки |

1.1.3. Защита аппаратуры и линий связи от опасных и мешающих влияний

Применяют меры защиты как на линиях высокого напряжения (влияющая линия), так и непосредственно на линиях связи (линия, подверженная влиянию). Меры защиты линий связи и аппаратуры зависят от типа линии связи, типа влияющих линий, вида влияния, от конкретных условий прокладки линии связи, от величин допустимых напряжений. Так как нормы допустимых напряжений обычно известны заранее, то меры защиты выбираются компромиссным путём, исходя из технико-экономического сравнения различных вариантов защиты. Одним из наиболее доступных и распространенных способов защиты линий связи от опасных влияний является использование разрядников.

1.1.4. Конструкция и параметры разрядников

Для защиты аппаратуры телефонно-телеграфных станций, аппаратов абонентов и линий связи от опасных напряжений применяются разрядники различного типа. Защитные функции разрядников сводятся к полному или частичному преобразованию энергии электрического поля волны, опасной своим высоким напряжением, в энергию магнитного поля с низким напряжением по отношению к земле. Разрядное напряжение выбирается таким, чтобы при любой форме приложенного к разряднику напряжения его остаточное напряжение было бы меньше напряжения, способного повредить изоляцию защитного оборудования.

Основными элементами разрядников являются электроды, отделённые один от другого искровым промежутком. Разрядники включаются между проводом и землёй. Искровой промежуток надёжно отделяет провод линии от заземления. При поступлении на разрядник напряжения с амплитудой,

превосходящей напряжением его зажигания, происходит пробой его искрового промежутка, и через разрядник протекает ток I_p , определяемый амплитудой падающей волны U_n , волновым сопротивлением провода связи Z_b , сопротивлением разрядника R_p и сопротивлением заземления R_3 :

$$I_p = U_n / (R_p + R_3 + Z_b). \quad (1.1)$$

Поскольку $R_p + R_3 \ll Z_b$, то I_p определяется главным образом волновым сопротивлением Z_b , т.е.

$$I_p \gg U_n / Z_b. \quad (1.2)$$

Защитное действие разрядника основано на снижении напряжения падающей волны до величины падения напряжения $U_{pз}$ на разряднике и заземляющем устройстве. Следовательно,

$$U_{pз} = I_p (R_p + R_3) = U_n (R_p + R_3) / Z_b. \quad (1.3)$$

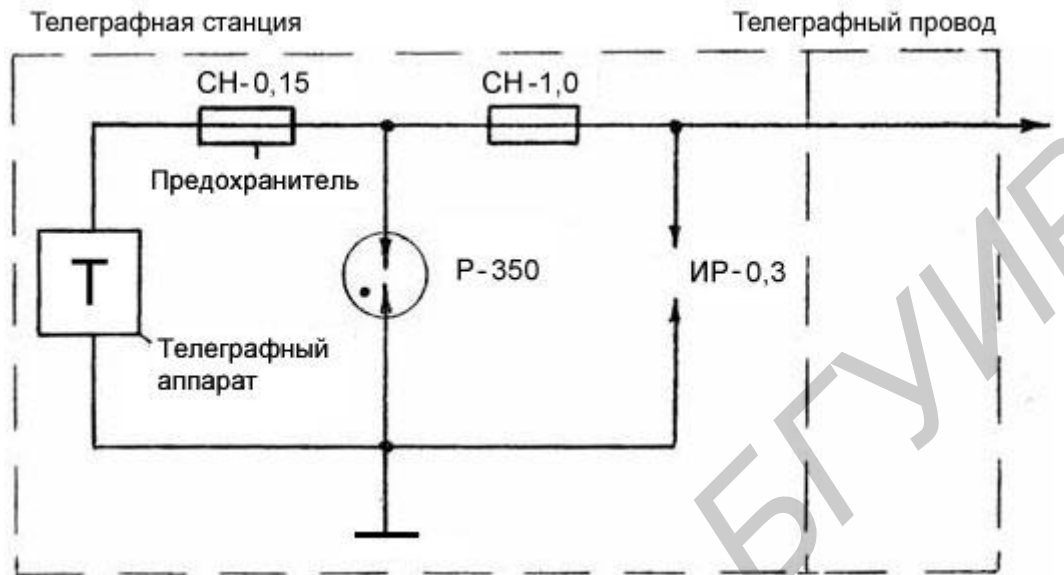
Таким образом, защитное действие разрядника будет тем больше, чем меньше сопротивление разрядника по сравнению с волновым сопротивлением линейного провода, по которому движется к разряднику волна.

Для защиты городских и междугородных телефонно-телеграфных станций и кабелей от опасных напряжений применяются разрядники следующих типов:

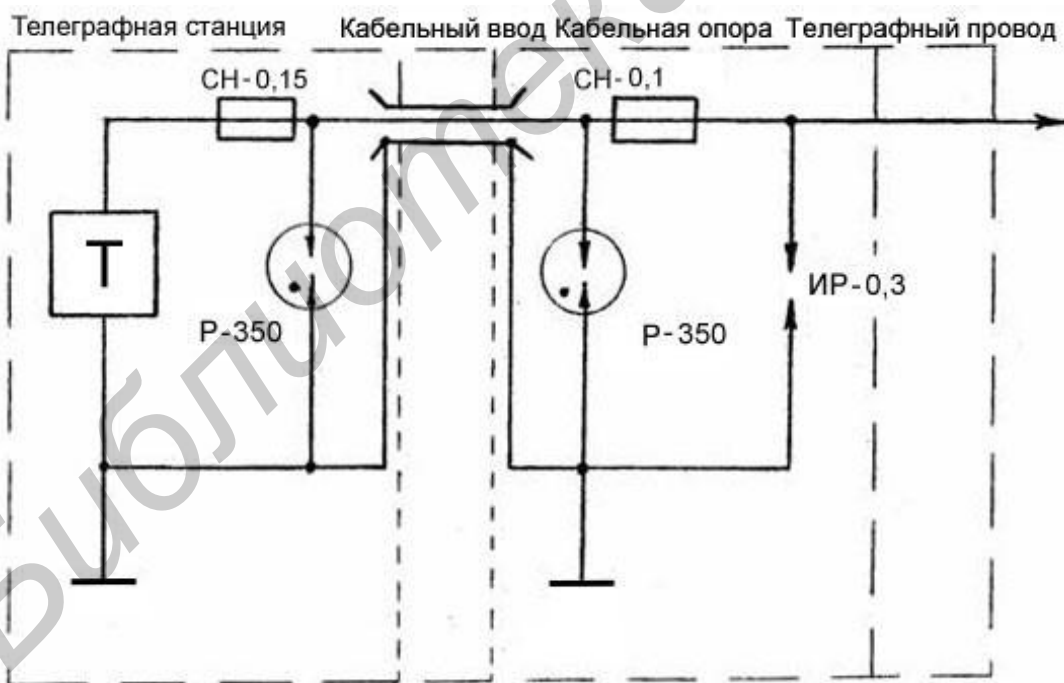
- газонаполненные: Р-350, РБ-280, Р-35, Р-34, Р-4, Р-2М;
- угольные: УР-500, УР-500М;
- вилитовые: РВ-500, РВ-1000, РВ-2000, РВ-3000;
- искровые: ИР-0,2, ИР-0,3, ИР-7, ИР-10, ИР-16, ИР-20.

Каждый разрядник характеризуется напряжением зажигания (разрядным напряжением), временем запаздывания, пропускной способностью,

напряжением гашения разряда, остаточным напряжением, временем восстановления напряжения зажигания. Включение разрядников в цепи связи показано на рис. 1.1.–1.3.



а



б

Рис. 1.1. Схема защиты телеграфной станции при кабельном (а) и воздушном вводе (б)

Напряжением зажигания (разрядным напряжением) называется напряжение, при котором устанавливается дуговой разряд в разряднике.

Временем запаздывания разряда называется время между моментом подачи напряжения на зажимы разрядника и моментом наступления дугового разряда. Это время зависит от конструкции разрядника и от величины и формы подаваемого напряжения.

Пропускной способностью называется способность разрядника пропускать между электродами импульсные и длительные токи различной частоты, при которых не происходит разрушение разрядника.

Напряжением гашения разряда называется напряжение, при котором исчезает дуговой разряд между электродами разрядника.

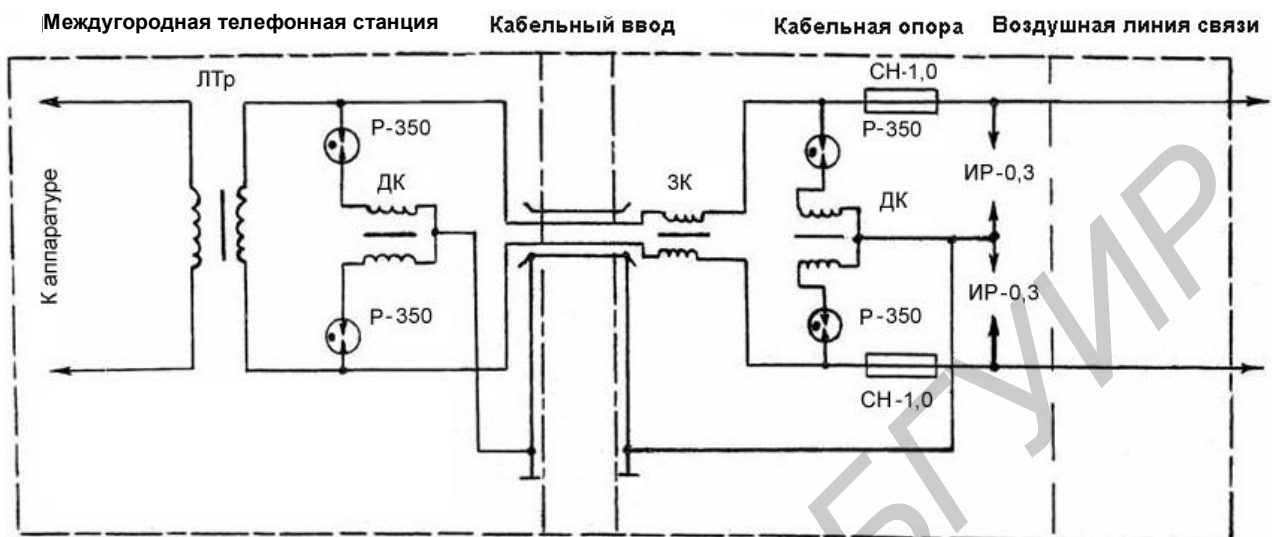
Остаточным называется суммарное напряжение на разряднике и на сопротивлении заземляющего устройства во время прохождения тока через разрядник. Основное влияние на остаточное напряжение оказывает сопротивление заземления.

Временем восстановления напряжения зажигания разрядника называется время от момента прекращения протекания тока через разрядник до момента полного восстановления напряжения зажигания, т.е. время, необходимое для полного восстановления изоляции разрядника после его работы.

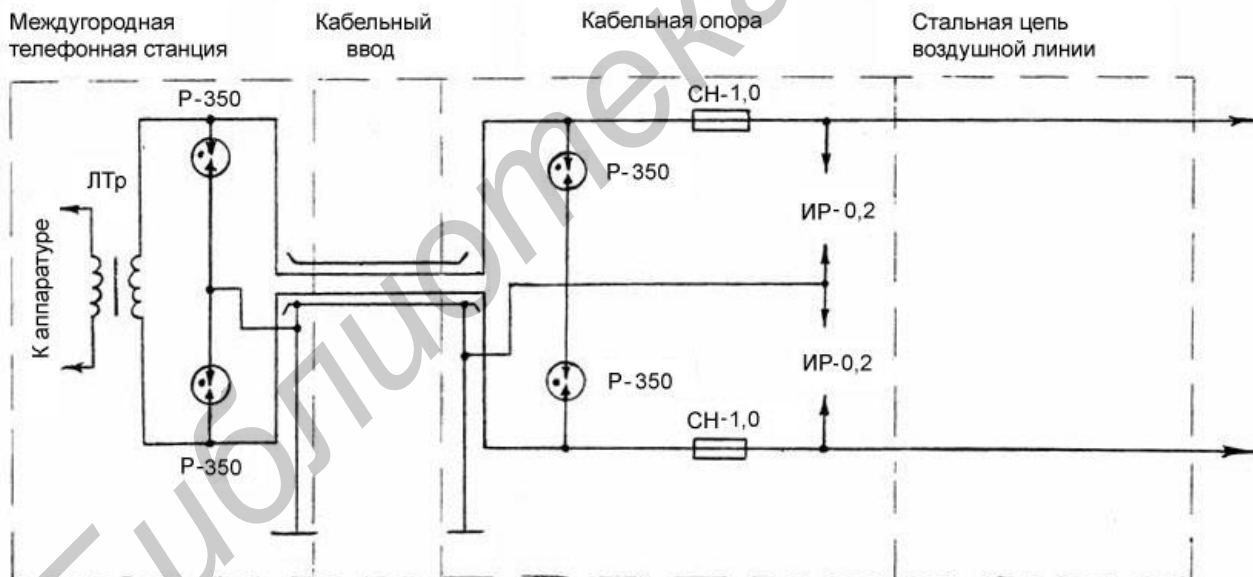
Технические и эксплуатационные характеристики разрядников даны в табл. 1.2. Целесообразность применения того или иного разрядника в том или ином месте линии связи определяется исходя из вышеизложенных параметров разрядника.

Перед установкой разрядника в схему защиты испытывают его напряжение зажигания. Испытания проводятся в различное время. Разрядники типа Р-350, Р-35, Р-4, Р-27 и Р-34 испытывают после сильных гроз, а также весной и осенью. Разрядники типа РБ-280, Р-2М, УР-500, УР-500М испытывают

не реже одного раза в три месяца и после каждой аварии в линии или аппаратуре. Испытания проводят с помощью испытателя разрядников ИР-ЗМ.



а



б

Рис. 1.2. Схема защиты междугородной станции при использовании воздушных линий связи, в которых применяются проводники из меди (а) и из стали (б)

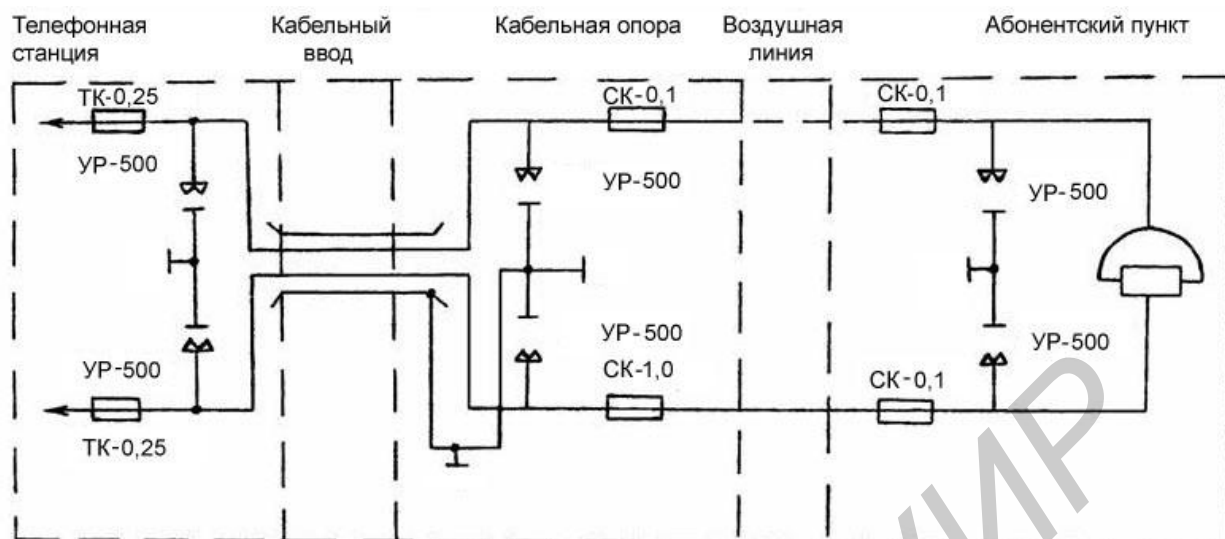


Рис. 1.3. Схема защиты телефонной станции

Таблица 1.2

Характеристики разрядников

| Тип разрядника | Разрядное напряжение при постоянном токе, В | Импульсное разрядное напряжение для волны 20/40 мкс, В | Напряжение гашения разряда, В | Высота, мм | Ширина, мм |
|----------------|---|--|-------------------------------|------------|------------|
| Р-350 | 350±40 | 450–800 | 40–80 | 62±2 | 31±1,5 |
| РБ-280 | 280±30 | 350–600 | 40–80 | 210±10 | 95±1,5 |
| Р-35 | 350±40 | 450–800 | 40–80 | 100±2 | 32±2 |
| Р-4 | 76±1,5 | 110–120 | 40–50 | 15 | 7 |
| РБ-500 | 500±100 | 850–1100 | 250–300 | 65±2 | 70±1 |
| РВ-2000 | 2000±200 | 2300–2600 | 800–1000 | 65±2 | 70±1 |
| УР-500 | 500±100 | 700–950 | 40–120 | 30 | 11 и 8 |
| УР-500М | 500±100 | 700–950 | 40–120 | 30 | 11 и 8 |
| Р-27 | 350±40 | 450–800 | 40–80 | 45 | 19 |

Описание испытателя разрядников ИР-3М

Испытатель разрядников ИР-3М предназначен для проверки величины разрядного напряжения газонаполненных, угольных, вилитовых и других типов разрядников на рабочее напряжение до 3500 В постоянного тока, которые применяются в качестве защиты аппаратуры связи на кабельных и воздушных линиях связи. Прибор позволяет испытывать следующие типы разрядников: Р-350, РВ-280, Р-34, УР-500, УР-500М, РВ-500, РВ-1000, РВ-2000, РВ-3000, Р-4, Р-2М, Р-27, Р-35.

Технические данные испытателя разрядников ИР-3М

Напряжение постоянного тока на электродах испытываемого разрядника от 50 до 3500 В с возможностью плавной регулировки. Остальные параметры следующие:

- контрольный вольтметр имеет пределы измерения 600 и 3000 В с основной погрешностью измерений не выше ± 4 % от соответствующего верхнего предела измерения;
- изоляция ИР-3М выдерживает в течение одной минуты 8 кВ постоянного тока между выходными клеммами и металлическим кожухом;
- сопротивление изоляции между выходными клеммами испытателя и его металлическим кожухом не менее 1000 МОм;
- питание осуществляется от двух последовательно включенных батарей типа ЗЗЗ6Л с номинальным напряжением 9 В;
- испытатель надежно работает в интервале температур от минус 10 до плюс 40° С.

1.1.5. Устройство и принцип работы прибора ИР-3М, позволяющего исследовать разрядники

Принципиальная электрическая схема испытателя ИР-3М представлена на рис. 1.4. Испытатель состоит из преобразователя постоянного напряжения в переменное, выполненного на транзисторе VT1, включенном в схему однотактного блокинг-генератора, выпрямителя и удвоителя напряжения на селеновых выпрямителях VD1... VD6, конденсаторах C2, C3 и ограничивающих резисторах R5, R6, и измерителя напряжения, в состав которого входит стрелочный индикатор-микроамперметр ИП, добавочные резисторы R3, R4, R7... R14 и переключатель пределов измерения В.

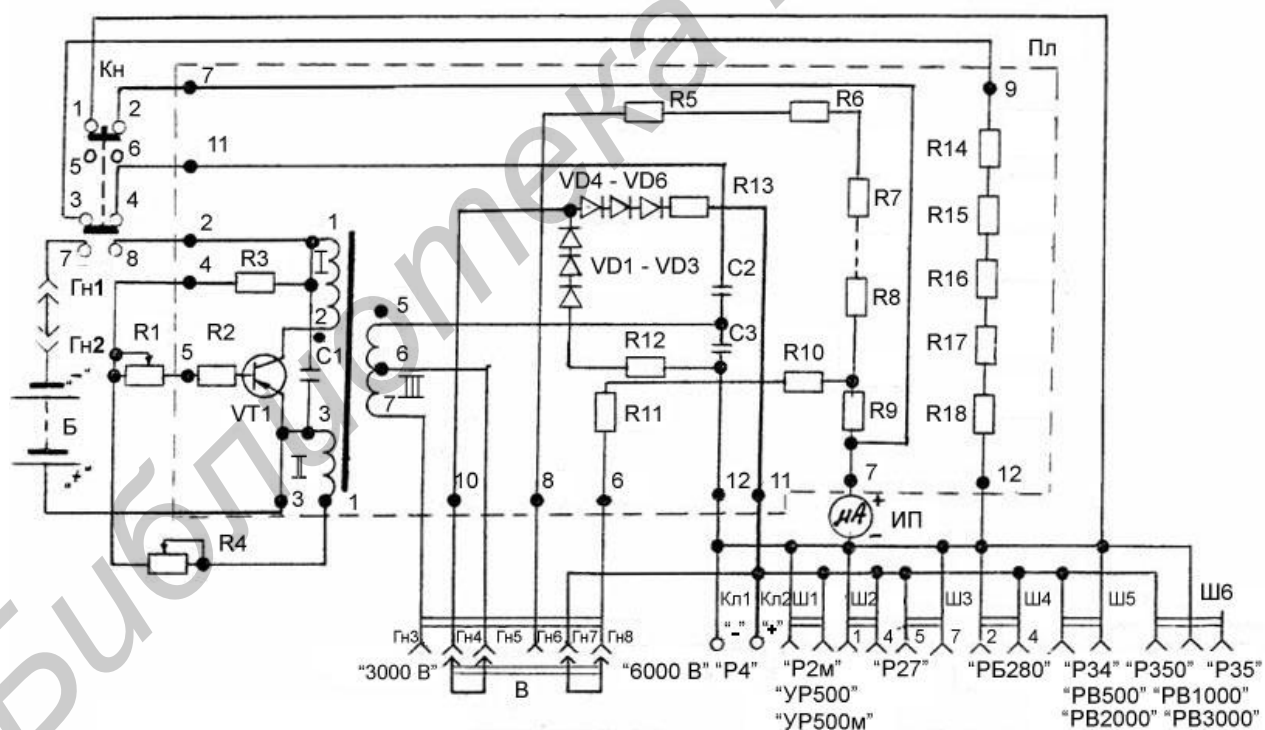


Рис. 1.4. Принципиальная схема испытателя разрядников ИР-3М

При нажатии кнопки включения K_n , обозначенной надписью «Вкл» на лицевой панели испытателя, напряжение питания от батареи B поступает на преобразователь. Снимаемое с повышающей обмотки III трансформатора T_p блокинг-генератора высокое напряжение после выпрямления и удвоения поступает на параллельно соединенные колодки для установки проверяемых разрядников. Разрядное напряжение разрядника определяется по стрелочному индикатору-вольтметру постоянного тока.

Вольтметр имеет два предела измерений – 600 и 3000 В, коммутируемых переключателем В. При этом одновременно с переключением добавочных резисторов R3, R4, R7... R14 вольтметра ИП производится соответствующая коммутация отводов 6,7 обмотки III трансформатора T_p , что обеспечивает требуемую величину испытательного напряжения. При отжатой кнопке «Вкл» микроамперметр ИП закорочен контактами 1,2 кнопки «Вкл».

Установка напряжения необходимой величины производится регуляторами «Грубо» (R1) и «Точно» (R2) путём изменения тока смещения базы транзистора, а также напряжения обратной связи, подаваемого с обмотки II на базу транзистора Т. Резисторы R15... R19 и нормально замкнутые контакты 3,4 кнопочного переключателя «Вкл» (Кн) обеспечивают разряд конденсаторов после выключения испытателя. Перемычка ПБ совместно с гнездами Гн1, Гн2 образует цепь блокировки, отключающей от испытателя батареи питания при открытой крышке кожуха прибора. Контактные колодки, панели и клеммы обеспечивают установку в них разрядников указанных на схеме типов. Колодки закрыты защитной крышкой, обеспечивающей безопасность испытаний.

1.2. Порядок выполнения работы

ВНИМАНИЕ! Нужно помнить, что при нажатой кнопке «Вкл» на выходных клеммах испытателя приложено высокое напряжение. Поэтому

категорически запрещается проверка разрядников при снятой защитной крышке прибора с использованием внешней перемычки в цепи блокировки.

1. Перед проведением измерений проверить работоспособность прибора. Для этого установить колодку переключения напряжений в положение «600 В», нажать кнопку «Вкл» и регулятором «Грубо» и «Точно» установить по вольтметру напряжение 600 В. При нажатой в течение одной-двух минут кнопке «Вкл» величина напряжения не должна изменяться. Уменьшение напряжения свидетельствует о некачественных батареях питания.

2. Отпустить кнопку «Вкл» и перевести регуляторы «Грубо» и «Точно» в крайнее левое положение, соответствующее минимальному выходному напряжению.

3. Снять защитную крышку, установить проверяемый разрядник в соответствующую колодку согласно надписи на лицевой панели и установить защитную крышку на свое место.

4. В соответствии с типом проверяемого разрядника установить колодку переключения напряжения в положение «600 В» или «3000 В» (разрядники типа Р-4, РБ-280, Р-35, Р-350, Р-27, РВ-500, УР-500 и УР-500М проверяются на пределе 0-600 В, а разрядники РВ-1000, Р-34, Р-2М, РВ-2000 и РВ-3000 – на пределе 0-3000 В).

5. Нажать кнопку «Вкл» (кнопка должна находиться в нажатом положении в течение всего времени испытания) и регулятором «Грубо» увеличивать напряжение (контролируя его величину по стрелочному индикатору испытателя) до момента разряда. Момент разряда характеризуется резким броском стрелки индикатора в левую сторону.

6. Регулятором «Грубо» уменьшить испытательное напряжение до прекращения разряда в разряднике, а затем, медленно вращая ручку регулятора «Точно», повторно увеличивать испытательное напряжение. По шкале

стрелочного индикатора зафиксировать значение напряжения, при которой наступает разряд (разрядник начинает светиться). Это напряжение и является разрядным напряжением (напряжением зажигания) проверенного разрядника.

7. Отпустить кнопку «Вкл», установить регуляторы «Грубо» и «Точно» в крайнее левое положение, снять защитную крышку и изъять проверенный разрядник из колодки. Установка в колодку для проверки следующего разрядника производится только при отжатой кнопке «Вкл».

8. Результаты измерений занести в табл. 1.3.

После проверки разрядников, а также в перерывах между проверками необходимо закрывать защитную крышку.

Таблица 1.3

Результаты измерения параметров разрядников

| Тип разрядника | Название | Напряжение зажигания, В |
|----------------|-----------------|-------------------------|
| P-350 | Двухэлектродный | |
| PБ-280 | Бариевый | |
| УР-500 | Угольный | |
| УР-500М | Угольный | |
| P-34 | Двухэлектродный | |
| P-4 | Двухэлектродный | |
| PВ-500 | Вилитовый | |
| PВ-1000 | Вилитовый | |

Примечание. Контрольный вольтметр испытателя может быть использован в качестве вольтметра постоянного тока с пределами измерений 600 и 3000 В. Для этого измеряемое напряжение следует подключить к клеммам разрядника P-4 при отжатой кнопке «Вкл».

1.3. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы защиты аппаратуры междугородной станции и усилительных пунктов при кабельном вводе на стальных цепях и цепях из цветных металлов.
3. Таблица измерений.
4. Сравнение полученных результатов с данными табл. 1.2, их краткое объяснение и выводы.

1.4. Контрольные вопросы

1. Назвать виды влияний на линии связи.
2. Назвать меры защиты, применяемые на кабелях связи, на ЛЭП высокого напряжения, электрифицированных железных дорогах постоянного и переменного тока.
3. Назвать типы разрядников. Их конструкция и назначение.
4. Назвать параметры разрядников.

Литература

1. Гроднев, И. И., Курбатов, Н. Д., Кочановский, Л. Н. Линии связи. – М. : Радио и связь, 1995.
2. Гроднев, И. И., Курбатов, Н. Д. Линейные сооружения связи. – М. : Связь, 1974.
3. Михайлов, М. И., Разумов, Л. Д., Соколов, С. А. Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний. – М. : Связь, 1978.

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕДАЧИ ЦЕПЕЙ СВЯЗИ ПРИБОРОМ ИЗКЛ-120

Цель работы: получить практические навыки в измерении собственного и рабочего затухания, а также переходного затухания с помощью прибора ИЗКЛ-120.

Задания к работе:

1. Изучить устройство, принцип работы и правила пользования прибором ИЗКЛ-120.
2. Произвести измерения собственного и рабочего затухания в цепях связи различной длины.
3. Произвести измерения переходного затухания в цепях связи различной длины.
4. Дать анализ полученных результатов в выводах по работе.

2.1. Краткие теоретические сведения

Электромагнитная энергия, распространяясь вдоль кабельной линии, затухает к концу линии. Это объясняется потерями в цепи передачи. Эти потери в основном складываются из потерь в металлических элементах кабеля (токопроводящие жилы, экран, броня, оболочка) и потерь в диэлектрике (изоляции). В области очень высоких частот возникают потери на излучение.

Потери в цепи передачи учитываются через коэффициент распространения γ , который является комплексной величиной и может быть представлен как

$$g = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}, \quad (2.1)$$

где R, G, L, C – первичные параметры передачи кабельной цепи; ω – частота, а параметры α и β характеризуют соответственно затухание и изменение фазы напряжения или тока на участке кабельной цепи длиной l км и называются коэффициентом затухания (α) и коэффициентом фазы (β). Таким образом, коэффициент распространения $\gamma = \alpha + j\beta$ одновременно определяет изменение сигнала как по абсолютной величине, так и по фазе на 1 км длины кабеля.

В соответствии со сказанным выше коэффициент затухания α может быть представлен в виде суммы трех слагаемых

$$\alpha = \alpha_m + \alpha_d + \alpha_u, \quad (2.2)$$

где $\alpha_m \sim \sqrt{f}$ – затухание за счет потерь в металле; $\alpha_d \sim f$ – затухание за счет потерь в диэлектрике и $\alpha_u \sim f^2$ – затухание за счет потерь на излучение, причем для симметричной цепи

$$\alpha_m = 8,69(R/2)\sqrt{C/L} = 2,6\sqrt{fe_r} \left(1/2r + r/a^2\right) / \lg[(a-r)/r], \text{ дБ/км}, \quad (2.3)$$

$$\alpha_d = 8,69(G/2)\sqrt{L/C} = 9,08 f \sqrt{e_r \text{tg} \delta} \cdot 10^{-5}, \text{ дБ/км}. \quad (2.4)$$

В формулах (2.3, 2.4) параметры r – радиус проводника, мм; a – расстояние между осями проводников, мм; ϵ_r – эффективная диэлектрическая проницаемость изоляции проводников; $\text{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь изоляции; f – частота, Гц.

В практически используемом спектре частот передачи (до 1 МГц в случае симметричных кабелей) и с учетом экранирующего действия металлической оболочки кабеля составляющей α_u можно пренебречь. В этом же спектре частот для современных высококачественных кабельных диэлектриков типа

полиэтилен, полистирол, имеющих малый $tg\delta$, величина α_δ незначительна по сравнению с α_m , и поэтому затухание α увеличивается примерно пропорционально $\dot{O}f$.

Если в начале цепи длиной l включен генератор с внутренним сопротивлением Z_0 , в конце цепи имеется нагрузка Z_l и обеспечен согласованный режим, т.е. $Z_0 = Z_l = Z_\epsilon$, где Z_ϵ – волновое сопротивление цепи, то основные уравнения однородной кабельной цепи упрощаются и принимают вид

$$U_l = U_0 \cdot e^{-gl}, I_l = I_0 \cdot e^{-gl}, P_l = P_0 \cdot e^{-gl}, \quad (2.5)$$

где U_0, I_0, P_0 – напряжение, ток и мощность в начале, а U_l, I_l, P_l – в конце цепи. Используя формулу (2.5), можно написать

$$U_0 / U_l = I_0 / I_l = e^{(a+jb)l} = e^{al} \cdot e^{jbl} = M \cdot e^{jj}. \quad (2.6)$$

Модуль этого выражения $M = e^{aj}$ показывает уменьшение абсолютного значения тока или напряжения при прохождении сигнала по линии длиной l . Аргумент $\varphi = \beta l$ показывает изменение угла (фазы) вектора тока или напряжения на этом же участке линии длиной l .

Величина $a_c = \alpha l$ называется собственным затуханием цепи и оценивается в неперах:

$$a_c = \alpha l = \ln|U_0/U_l| = \ln|I_0/I_l| = (1/2) \cdot \ln|P_0/P_l|, \text{ Нп} \quad (2.7)$$

или децибелах:

$$a_c = \alpha l = 20 \lg|U_0/U_l| = 20 \lg|I_0/I_l| = 10 \cdot \lg|P_0/P_l|, \text{ дБ}. \quad (2.8)$$

Однако в реальной линии связи вследствие несогласованности сопротивлений Z_0 и Z_l с волновым сопротивлением цепи $Z_в$, а также наличия внутренних (в пределах строительной длины кабеля) и стыковых (в соединительных муфтах) неоднородностей дальность связи будет определяться не собственным затуханием линии $a_c = \alpha l$, а ее рабочим затуханием a_p . Если не учитывать стыковые и внутренние неоднородности кабеля, то

$$a_p = a_c + a_n + a_k + a_в, \quad (2.9)$$

где a_c – собственное затухания цепи; a_n – дополнительное затухание вследствие несогласованности сопротивлений генератора и кабеля ($Z_0 \neq Z_в$); a_k – дополнительное затухание вследствие несогласованности сопротивлений нагрузки и кабеля ($Z_l \neq Z_в$); $a_в$ – дополнительное затухание от взаимодействия неоднородностей в начале и в конце цепи вследствие повторных отражений на передающем и приемном концах цепи, причем

$$a_i = \ln \left| \frac{Z_0 + Z_{\hat{a}}}{2\sqrt{Z_0} \cdot Z_{\hat{a}}} \right|, \quad (2.10)$$

$$a_l = \ln \left| \frac{Z_l + Z_{\hat{a}}}{2\sqrt{Z_l} \cdot Z_{\hat{a}}} \right|, \quad (2.11)$$

$$a_в = \ln |1 - p_0 \cdot p_l \cdot \exp(-2 \cdot g \cdot l)|, \quad (2.12)$$

$$p_0 = (Z_0 - Z_в) / (Z_0 + Z_в), \quad (2.13)$$

$$p_l = (Z_l - Z_в) / (Z_l + Z_в). \quad (2.14)$$

В (1.12) p_0 и p_l – коэффициенты отражения на стыках «генератор-кабель» и «приёмник-кабель». Появление слагаемого $a_в$ в (2.9) объясняется тем, что волна, отраженная от конца линии, приходит к ее началу и, взаимодействуя с

падающей волной, изменяет соотношение напряжения U_0 и тока I_0 в начале линии, что равносильно изменению входного сопротивления линии $Z_{ex} = U_0/I_0$. Для Z_{ex} существует выражение

$$Z_{ex} = Z_0 \cdot th \left[g l + 0,5 \cdot \ln \left(\frac{1}{p_l} \right) \right], \quad (2.15)$$

из которого следует, что в случае согласованной нагрузки $Z_l = Z_0$ коэффициент отражения $p_l = 0$ и $Z_{ex} = Z_0$, $a_k = 0$, $a_0 = 0$, $a_p = a_c + a_n$. Для электрически длинной линии, когда справедливо соотношение $|\gamma l| \gg 1$, при любой нагрузке на ее конце $Z_{ex} = Z_0$, $a_0 = 0$ и $a_p = a_c + a_n + a_k$.

Обычно необходимо знать затухание усилительного участка. При высокочастотной связи собственное затухание цепи αl на длине усилительного участка доходит до 6...7 Нп, и в этом случае a_0 можно считать равным нулю, поскольку волна, отраженная от нагрузки, при распространении к генератору практически полностью затухает и не влияет на входное сопротивление кабеля, подключенного к генератору.

В общем случае в (2.9) появятся два дополнительных слагаемых $a_{вн}$ и $a_{ст}$, учитывающих потери на внутренних и стыковых неоднородностях линии связи.

Если на обоих концах цепи включены согласованные нагрузки, а отражение на внутренних и стыковых неоднородностях пренебрежимо мало, то рабочее затухание будет равно собственному затуханию, т.е. $a_p = a_c = \alpha l$.

Следует отметить, что передача сигналов связи по неоднородным линиям находится в неблагоприятных условиях и качество связи по ним может быть совершенно неудовлетворительным. Поэтому на практике всегда стремятся создать в линии связи согласованный режим, что является условием неискаженной передачи сигналов.

Помимо собственного и рабочего затухания в кабельных линиях связи важное значение имеет также и величина переходного затухания. При рассмотрении влияния между цепями связи различают два вида перехода энергии: на ближнем (передающем) и дальнем (приёмном) концах. Переходное затухание по мощности на ближнем конце:

$$A_0 = 10 \lg^{1/2} P_{10} / P_{20n}^{1/2} \text{ дБ}, \quad (2.16)$$

где P_{10} – мощность сигнала на ближнем конце влияющей цепи; P_{20n} – мощность помехи на ближнем конце цепи, подверженной влиянию. Переходное затухание по мощности на дальнем конце:

$$A_l = 10 \lg^{1/2} P_{10} / P_{2ln}^{1/2} \text{ дБ}, \quad (2.17)$$

где P_{10} – мощность сигнала на ближнем конце влияющей цепи; P_{2ln} – мощность помехи на дальнем конце цепи, подверженной влиянию. Наряду с параметрами A_0 и A_l широко используется и параметр A_z – защищенность от помех, или просто защищенность, которая представляет собой разность уровней полезного сигнала и помех в рассматриваемой точке линии связи:

$$A_z = 10 \lg^{1/2} P_c / P_n^{1/2} = p_c - p_n, \text{ дБ}, \quad (2.18)$$

где P_c – мощность сигнала; P_n – мощность помехи; p_c – уровень сигнала, p_n – уровень помехи. Введение данного параметра обусловлено тем, что для обеспечения заданного качества связи необходимо, чтобы мощность полезного сигнала превосходила мощность помех на определенную величину. Сама по себе передача сигнала с определенной мощностью сигнала ещё не гарантирует

требуемого качества передаваемой информации. Между параметрами A_l и A_s существует соотношение

$$A_s = A_l - a l, \text{ дБ}, \quad (2.19)$$

где a - коэффициент затухания; l – длина кабельной линии связи.

Для измерения затухания цепей связи существуют различные типы приборов, являющихся по существу измерителями уровня. Они, как правило, содержат генератор с фиксированной и/или плавной настройкой и указатель уровня и подразделяются на диапазонные и селективные. В диапазонных приборах указатель уровня является широкополосным с полосой пропускания, равной диапазону частот генератора.

Проведение измерений с помощью диапазонных измерителей уровня требует прекращения передачи сигналов связи по кабелю, поскольку в противном случае указатель уровня будет принимать не только сигнал измерительного генератора, но и сигналы связи, и его показания будут неправильными. Можно, конечно, выбрать уровень сигнала генератора много большим уровня сигналов связи, и с помощью пороговых устройств осуществить в указателе уровня выделение сигнала генератора, однако при этом не будет обеспечено необходимое качество связи, т.к. мощный сигнал измерительного генератора будет забивать относительно слабый сигнал связи. Примером диапазонных измерителей уровня являются отечественные приборы П-321, НУ-1С и др.

В селективных приборах используется перестраиваемый резонансный указатель уровня с полосой пропускания 100...200 Гц, что позволяет измерять уровень сигнала измерительного генератора, а значит, и затухания цепей связи без перерыва действия связей. Селективные измерители уровня являются более универсальными приборами, чем диапазонные измерители уровня, полностью заменяют последние и получили наибольшее распространение в организациях,

осуществляющих эксплуатационно-техническое обслуживание линий связи. Примером селективных измерителей уровня являются отечественные приборы ИЗКЛ, ИП-300, КС-25 и зарубежные ЕТ-70, ЕТ-90 (переносные), ЕТ-100, ЕТ-110 (стационарные для линейно-аппаратных цехов) производства Венгрии, стационарные MV-61, MV-62, PVA-60 производства Германии.

2.2. Краткие сведения по устройству прибора ИЗКЛ-120

Измеритель затухания кабельных линий (ИЗКЛ-120) предназначен для измерения затухания участков кабеля, уплотняемого системой передачи ИКМ-120. Он состоит из двух основных устройств: генератора (Г-ИЗКЛ-120А) и селективного измерителя уровня (ИУ-ИЗКЛ-120А) (рис. 2.1).

Генератор обеспечивает получение синусоидального сигнала фиксированной частоты $(4224 \pm 0,1)$ кГц. Нестабильность частоты генератора не превышает ± 400 Гц в рабочем диапазоне температур и изменении напряжения питания в установленных пределах. Уровень сигнала на выходе генератора на внешней нагрузке $(150 \pm 1,5)$ Ом составляет $(10 \pm 0,2)$ дБ на низкоомном выходе и $(0 \pm 0,2)$ дБ – на согласованном выходе 150 Ом. Нестабильность уровня сигнала на выходе генератора в диапазоне рабочих температур не более $\pm 0,8$ дБ.

Выходное сопротивление генератора разное: (150 ± 5) Ом – на согласованном выходе и не более 40 Ом на низкоомном выходе. Измеритель уровня обеспечивает измерение уровня сигнала с частотой (4224 ± 4) кГц, при этом отклонение показаний на крайних частотах не должно быть более $\pm 0,2$ дБ, относительно уровня на номинальной частоте $(4224 \pm 0,1)$ кГц.

При расстройке входного сигнала на ± 500 кГц показания измерителя уровня по отношению к показаниям на номинальной частоте должны быть ниже не менее чем на 40 дБ.

2.2.1. Принцип действия ИЗКЛ-120

Генератор (рис. 2.1) состоит:

- из задающего генератора, частота которого стабилизирована кварцевым резонатором;
- из делителя частоты;
- из усилителя мощности, выходной уровень которого стабилизирован с помощью схемы АРУ;
- из стабилизатора питающего напряжения.



Рис. 2.1. Структурная схема прибора ИЗКЛ-120

Питание генератора и измерителя уровня осуществляется от встроенных элементов или от внешнего источника питания 12 В.

Селективный измеритель уровня состоит:

- из аттенуатора входного сигнала;
- из резонансного усилителя;
- из детектора, нагруженного на стрелочный индикатор;
- из стабилизатора питающего напряжения.

Процесс измерения затухания линии заключается в том, что на одном конце в линию подаётся от генератора сигнал, калиброванный по амплитуде (0 или 10 дБ), на другом конце линии измеряется уровень сигнала измерителем

уровня. Величина затухания линии определяется как разность уровней сигнала на входе и выходе линии.

2.2.2. Подготовка и порядок работы с прибором ИЗКЛ-120

1. Произведите внешний осмотр приборов. На приборах не должно быть механических повреждений. Проверьте наличие и целостность соединительных проводников.

2. Перед началом измерений необходимо проверить исправность блока питания по соответствию показаний его индикаторов выходного напряжения и тока номинальным значениям: напряжения – 12 В и тока – не более 0,2 А.

3. Проверка наличия питания генератора.

3.1. Проверить подключение клемм ВНЕШ.ПИТ.12 В в соответствии с указанной полярности к клеммам 12 В блока питания БП-12.

3.2. Включить внешний источник питания БП-12. Установить переключатель ВНЕШ. ПИТ. -БАТ. в положение ВНЕШ. ПИТ. При этом должен гореть светодиод индикатора питания.

3.3. Нажать кнопку КОНТР.ПИТ. Стрелка прибора, установленного на лицевой панели генератора, должна быть в пределах закрашенного сектора шкалы.

3.4. Нажать кнопку БЛОКИР.ПИТ. Светодиод индикатора питания должен погаснуть.

4. Проверка наличия питания измерителя уровня.

4.1. Проверить подключение клемм ВНЕШ.ПИТ.12 В в соответствии с указанной полярности к клеммам 12 В блока питания БП-12.

4.2. Установить переключатель ВНЕШ.ПИТ.-БАТ. в положение ВНЕШ.ПИТ. При этом должен гореть светодиод индикатора питания.

4.3. Нажать кнопку БЛОКИР. ПИТ. Светодиод индикатора питания должен погаснуть.

4.4. Выключить внешний источник питания.

5. Калибровка комплекта.

5.1. Установить переключатель ВНЕШ. ПИТ. - БАТ. генератора и указателя уровня в положение ВНЕШ. ПИТ. При этом должны загореться светодиоды индикаторов питания генератора и указателя уровня.

5.2. Установить аттенюатор измерителя уровня в положение «0 dB».

5.3. Установить переключатель ВЫХ. генератора в положение «0 dB 150 Ω». Соединить кабелем ЗЧ4.853.628 вход измерителя с выходом «0 dB 150 Ω» генератора.

5.4. Установить стрелку прибора измерителя уровня с помощью потенциометра КАЛИБР., расположенного на лицевой панели измерителя уровня, на отметку ▼ шкалы.

2.2.3. Описание лабораторного макета

Лабораторный макет представляет собой набор искусственных линий, эквивалентных по параметрам передачи отрезкам кабелей связи различной длины, и корректоров, рассчитанных на различную величину затухания. Искусственные линии и корректоры, построены из Т-образных звеньев. Путем коммутации искусственных линий и корректоров можно имитировать широкий набор кабелей различной длины и различного погонного затухания.

2.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Выполнение измерение затухания с помощью прибора ИЗКЛ-120.

2. Произвести градуировку прибора ИЗКЛ-120 (см. п. 2.2.2). Поставить переключатель БАТ.- ВНЕШ. ПИТ. в положение БАТ.

3. Установить переключатель ВЫХ. генератора в положение «0 dB 150 Ω». Установить аттенюатор измерителя уровня в положение «0 dB». Присоединить выход генератора «0 dB 150 Ω» (гнездо на передней панели) и вход указателя

уровня (на передней панели) с помощью двух кабелей РХ4. 853.628 с гнездам ГЕН и ИУ внешней нагрузки 150 Ω .

4. Гнездо «Вых. 1» внешней нагрузки 150 Ω присоединить к входным гнездам первой измеряемой линии связи ($l = 0,5$ км) на панели имитатора линий связи. Аналогично гнездо «Вых. 2» внешней нагрузки 150 Ω присоединить к выходным гнездам первой измеряемой линии связи на панели имитатора линий связи

5. Включить питание измерителя уровня и генератора, подав сигнал в измеряемую цепь, путём установки на передней панели этих двух приборов переключателя БАТ.- ВНЕШ. ПИТ. в положение ВНЕШ. ПИТ. Прогреть указанные приборы в течение 10 мин.

6. Переключением положений ручки аттенюатора измерителя уровня добиться положения стрелки прибора в пределах сектора шкалы 0 – минус 10 дБ. Определить по сумме показаний аттенюатора и шкалы стрелочного индикатора величину собственного затухания. При определении величины суммы показаний необходимо учитывать погрешность аттенюатора и шкалы измерителя уровня.

7. Аналогично пп. 2–6 произвести измерение собственного затухания в линиях связи различной длины ($l = 1$ км, $l = 2$ км, $l = 5$ км; $l = 10$ км, $l = 20$ км) на частоте работы прибора ИЗКЛ-120 в согласованном режиме, установив переключатели, расположенные в нижней части макета, в нижнее положение. Определить погонное (километрическое) затухание кабелей по известной длине и измеренному общему собственному затуханию и сравнить с известными табличными данными распространенных кабелей связи.

8. Выполнить измерение рабочих затухания линий различной длины ($l = 0,5$ км; $l = 1$ км, $l = 2$ км, $l = 5$ км; $l = 10$ км, $l = 20$ км) в несогласованном режиме, установив переключатели, расположенные в нижней части макета, в верхнее положение.

9. Построить зависимость собственного и рабочего затухания от длины линии связи. Сравнить полученные значения результатов измерения по пп. 7 и 8. Сделать выводы.

10. Выполнить измерения переходного затухания. Для этого гнездо «Вых.1» (внешняя нагрузка 150 Ω), расположенное на передней панели переходного устройства, присоединить к входным гнездам первой линии связи ($l = 0,5$ км) на панели имитатора линий связи. Эта линия связи будет являться влияющей линией связи. Аналогично гнездо «Вых. 2» (внешней нагрузка 150 Ω) присоединить к входным и выходным гнездам второй линии связи ($l = 1$ км) на панели имитатора линий связи. Эта линия связи будет являться линией связи, подверженной влиянию. Рассчитать переходные затухания на ближнем A_0 и дальнем A_l концах по формулам

$$A_0 = p_{ex1} - p_{ex2}, \quad (2.20)$$

$$A_l = p_{ex1} - p_{вых2}, \quad (2.21)$$

где p_{ex1} , p_{ex2} , дБ – уровни сигнала на входе первой (влияющей) и второй (подверженной влиянию) линий связи, $p_{вых2}$, дБ – уровень сигнала на выходе второй линии связи. Выполнить измерения переходного затухания на ближнем A_0 и дальнем A_l концах линии связи $l = 0,5$ км относительно остальных линий связи ($l = 1$ км, $l = 2$ км, $l = 5$ км; $l = 10$ км, $l = 20$ км), используя формулы для определения переходного затухания.

2.4. Содержание отчета

1. Назначение, технические данные и структурная схема ИЗКЛ-120.
2. Таблицы с данными измерений затухания.

3. Экспериментальные графики зависимости собственного и рабочего затухания от длины линии связи.

4. Выводы по проделанной работе.

2.5. Контрольные вопросы

1. Каковы физические причины затухания электромагнитной волны при ее распространении по линии связи?

2. Из каких слагаемых состоит коэффициент затухания и какова их зависимость от частоты?

3. Каково влияние затухания сигналов в линии связи на качество, экономичность и дальность связи?

4. В чём состоит разница между рабочим и собственным затуханиями и каково их соотношение друг с другом?

5. Какие виды неоднородностей существуют в линиях связи и каково их влияние на передачу сигналов?

6. Расскажите о существующих приборах для измерения затухания в линиях связи?

Литература

1. Гроднев, И. И., Курбатов, Н. Д., Кочановский, Л. Н. Линии связи. – М. : Радио и связь, 1995.

2. Гроднев, И. И., Курбатов, Н. Д. Линейные сооружения связи. – М. : Связь, 1974.

3. Гроднев, И. И. Кабели связи. – М. : Энергия, 1985.

Содержание

| | |
|--|----|
| Лабораторная работа №1. Изучение разрядников и других способов защиты направляющих систем от опасных электромагнитных влияний..... | 3 |
| Лабораторная работа №2. Измерение параметров передачи цепей связи прибором ИЗКЛ-120..... | 19 |

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Мищенко Валерий Николаевич

**ИЗУЧЕНИЕ РАЗРЯДНИКОВ И ДРУГИХ СПОСОБОВ
ЗАЩИТЫ НАПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ
ОТ ОПАСНЫХ И МЕШАЮЩИХ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВЛИЯНИЙ**

Лабораторный практикум по дисциплинам
«Направляющие системы телекоммуникаций»
и «Направляющие системы и пассивные компоненты»
для студентов специальностей
I-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,
I-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»,
I-45 01 03 «Сети и устройства телекоммуникаций»,
I-98 01 02 «Защита информации в телекоммуникациях»

Редактор Н. В. Гриневич
Корректор Е. Н. Батурчик

Подписано в печать 5.01.2007.
Гарнитура «Таймс».
Уч.-изд. л. 1,6.

Формат 60x84 1/16.
Печать ризографическая.
Тираж 150 экз.

Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 2,1.
Заказ 604.

Издатель и полиграфическое исполнение: Учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0056964 от 01.04.2004. ЛП №02330/0131666 от 30.04.2004.
220013, Минск, П. Бровки, 6